

安全技术及工程

# 煤层深孔聚能爆破增透技术的应用

吕鹏飞<sup>1</sup>, 豆孝星<sup>1</sup>, 朱同功<sup>2</sup>, 王金明<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院, 北京 100083; 2. 平顶山天安煤业股份有限公司十矿, 河南 平顶山 467013)

**摘要:** 为有效提高低透气性煤层瓦斯抽采率, 基于平煤十矿矿井瓦斯地质条件, 以戊<sub>8,9</sub>-20230 工作面为例, 试验了煤层深孔聚能爆破增透技术, 并进行增透效果考察。结果表明: 深孔聚能爆破增透后, 单孔抽采瓦斯体积分数为爆破前的 1.55 ~ 2.72 倍, 爆破影响区抽采瓦斯体积分数增幅达 37.64%; 而且随着爆破作用次数和装药长度的增加, 爆破影响区瓦斯抽采效果更加显著。

**关键词:** 瓦斯地质; 聚能爆破; 瓦斯抽采; 煤层增透

中图分类号: TD712

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2013)12-0035-04

## Application on Permeability Improved Technology with Deep Borehole Energy Accumulation Blasting in Coal Seam

LYU Peng-fei<sup>1</sup>, DOU Xiao-xing<sup>1</sup>, ZHU Tong-gong<sup>2</sup>, WANG Jin-ming<sup>1</sup>

(1. School of Resources and Safety Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China;

2. No. 10 Mine, Pingdingshan Tian'an Coal Corporation Ltd., Pingdingshan 467013, China)

**Abstract:** In order to improve gas drainage rate of low permeability coal seam, based on the gas geological conditions of Pingmei No. 10 Mine, permeability improved technology with deep borehole energy accumulation blasting in coal seam was tested in No. Wu<sub>8,9</sub>-20230 working face. The coal seam permeability improvement effect was studied. The results showed that after carrying out the permeability improved technology with deep borehole energy accumulation blasting, gas drainage density of single borehole was 1.55 ~ 2.72 times of that before blasting, and gas drainage density in blasting influence area increased by 37.64%. Furthermore, with the increase of blasting times and explosive charge length, gas drainage effect in blasting influence area was more obvious.

**Key words:** gas geology; energy accumulation blasting; gas drainage; coal seam permeability improvement

## 0 引言

随着煤炭开采逐渐向深部延伸, 煤层透气性降低、瓦斯含量和涌出量逐渐增大, 严重影响矿井安全生产<sup>[1]</sup>。为有效改善低透气性煤层较难抽采的现状, 采取了一系列的强化增透措施<sup>[2-5]</sup>, 如开采保护层、水力化措施、爆破技术等。实践表明, 开采保护层是区域性瓦斯治理最有效的手段, 煤层瓦斯抽采效果最好, 但必须具备开采保护层条件, 而且开采成本昂贵; 水力化措施如水力压裂等则需配置大型设备, 对操作过程要求较高; 而爆破技术工艺简单, 在矿井生产中便于操作, 已在煤矿瓦斯防治中得到

广泛应用。煤层深孔聚能爆破增透技术具有能量集中、方向性强、容易控制裂隙发展方向等特点, 能够显著提高煤层致裂增透效果, 目前已在多个矿井中实施并发挥了作用。平顶山天安煤业股份有限公司十矿(简称平煤十矿)为高瓦斯低透气性突出矿井, 煤层瓦斯抽采率低, 瓦斯灾害严重, 针对平煤十矿的瓦斯地质条件, 在本煤层顺层钻孔、高抽巷和底板巷穿层钻孔预抽瓦斯的基础上采用了煤层深孔聚能爆破增透技术, 为矿井瓦斯灾害防治提供了技术支持。

## 1 矿井瓦斯地质概况

平煤十矿生产能力为 300 万 t/a, 矿井为多水平

收稿日期: 2013-07-15; 责任编辑: 王晓珍

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41072118)

作者简介: 吕鹏飞(1986—), 男, 河南项城人, 博士研究生。Tel: 15101127401, E-mail: lvpfei@sina.com

引用格式: 吕鹏飞, 豆孝星, 朱同功, 等. 煤层深孔聚能爆破增透技术的应用[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(12): 35-38.

立井、斜井综合开拓,采用走向长壁采煤法,分区抽出式通风方式。井田内煤系地层为石炭—二叠系,含煤地层主要为上统上石盒子组、下石盒子组、二叠系下统山西组和石炭系上统太原组,总厚约 900 m,含煤 44 层,煤层总厚 30.72 ~ 42.21 m,含煤系数 3.4% ~ 4.7%。自上而下为 7 个煤组,编号为甲—庚,其中丁组、戊组、己组煤层为主采煤层,煤层透气性系数  $0.052 \sim 0.076 \text{ m}^2/(\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$ ,属于低透气性较难抽采煤层。矿井总体为单斜构造,未受区域变质和岩浆活动的影响,断层以原十一矿逆断层、牛庄逆断层为主,其中落差大于 20 m 的有 7 条,除  $F_{12}$ 、 $F_{13}$  为正断层外,其余 5 条均为逆断层。

平煤十矿共发生煤与瓦斯突出动力现象 50 次。2011 年矿井瓦斯等级鉴定结果表明,全矿井相对瓦斯涌出量为  $21.26 \text{ m}^3/\text{t}$ ,绝对瓦斯涌出量为  $110.02 \text{ m}^3/\text{min}$ 。随着矿井开采深度的增加,平煤十矿瓦斯涌出量逐年增大。为实现矿井瓦斯抽采达标,平煤十矿主要采取本煤层顺层钻孔预抽、高抽巷和底板巷穿层钻孔预抽的综合瓦斯抽采技术,在抽采初期瓦斯浓度较高,随着抽采时间的延长,瓦斯浓度整体下降,煤层平均抽采瓦斯体积分数为 6.15% ~ 19.44%。

## 2 煤层深孔聚能爆破增透技术应用

### 2.1 煤层深孔聚能爆破定向致裂机理

煤层深孔聚能爆破是利用爆炸产物运动方向与装药表面大致垂直的规律,将炸药制成聚能药卷,提高其能流密度并控制能量沿特定方向作用,实现定向致裂<sup>[6-7]</sup>。根据聚能流特点及煤岩爆破作用机理<sup>[8-12]</sup>,在煤层深孔聚能爆破中,装药爆轰后聚能槽被强烈压缩并在高温高压下形成聚能流,侵入煤体形成初始导向裂隙,以控制裂隙扩展方向。然后爆轰产物对爆破孔壁施加准静态载荷,导向裂隙尖端在应力波绕射、应力集中、爆生气体及煤体瓦斯压力综合作用下,裂纹开始发育并扩展,与其他方向相比形成较大范围的裂隙网络,实现了煤体的定向致裂。在爆破振动作用下煤体内大量瓦斯发生解吸并涌向生成的裂隙中,提高了煤层瓦斯抽采效果。

### 2.2 煤层深孔聚能爆破方案设计

平煤十矿在戊<sub>8,9</sub>-20230 工作面进风巷进行了煤层深孔聚能爆破增透试验,该工作面标高为 -540 ~ -590 m,埋深为 850 ~ 940 m,走向长约 869

m,倾向长 187 m,预计可采储量 42.55 万 t,所采煤层为戊<sub>8,9</sub>煤层,煤层透气性低,构造比较简单。其中上部戊<sub>8</sub>煤层平均厚 0.8 m,下部戊<sub>9</sub>煤层平均厚 1.3 m,中部为 1.0 ~ 2.4 m 厚的夹矸,煤层倾角 8°左右。平煤十矿 -550 ~ -610 m 煤层瓦斯压力为 1.9 ~ 2.4 MPa,煤层瓦斯含量为  $18 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

根据平煤十矿戊<sub>8,9</sub>-20230 工作面瓦斯地质条件,在进风巷巷帮原有瓦斯抽采孔基础上,沿煤层布置聚能爆破孔。原有瓦斯抽采孔孔深为 100 m、孔径为 89 mm,煤层深孔聚能爆破钻孔布置如图 1 所示。根据试验方案并结合现场实际情况,进行了 6 次煤层深孔聚能爆破增透试验,得到聚能爆破参数见表 1。

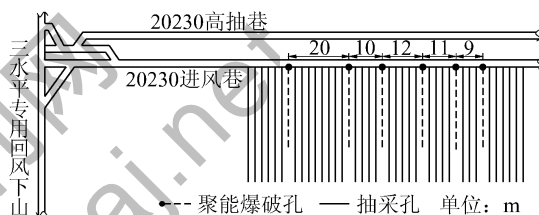


图 1 戊<sub>8,9</sub>-20230 工作面煤层深孔聚能爆破钻孔布置

表 1 平煤十矿戊<sub>8,9</sub>-20230 工作面煤层深孔聚能爆破参数

爆破孔	孔径/mm	孔深/m	倾角/(°)	装药长度/m	封孔长度/m
1 号	89	45	+5	22	12.5
2 号	89	40	+6	14	12.5
3 号	89	36	+5	22	12.5
4 号	89	45	+6	14	9.5
5 号	89	40	+5	18	7.0
6 号	89	35	+5	20	7.5

### 2.3 煤层深孔聚能爆破装药及封孔工艺

煤层深孔聚能爆破采用三级煤矿许用乳化炸药,引爆方式为正向引爆,与普通松动爆破相比,聚能爆破装药改变了药卷形状,将乳化炸药和聚能槽加工成特制的聚能药卷,试验过程中保持药卷聚能方向沿煤层走向布置。为便于送药,在装药顶端安装导向梭,并在末端安装尾塞。为保证正常传爆,药卷间必须严密接触。每根聚能药卷采用 2 发毫秒延期电雷管分别并联连接在放炮线上,形成大并联联线方式。联线过程中,雷管脚线与放炮线的接头处必须用绝缘胶带缠结好,以防短路造成拒爆。

封孔是煤层深孔聚能爆破增透技术的关键环节,封孔质量直接影响爆破增透效果。为实现安全快速封孔,现场试验时采用联合封孔结构,封孔里段

采用砂管并捆绑聚氨酯,外段采用黄泥。其中聚氨酯膨胀后强烈挤压砂管,与砂管间具有较强的黏聚力,起到固定砂管的作用。此外爆破孔孔壁凹凸不平,具有一定的裂隙,聚氨酯能填满裂隙和凹凸不平的孔壁表面,与孔壁互相咬合,加强了对砂管的固定<sup>[13]</sup>。外段捣实的黄泥可以起到加固封孔的作用。

### 3 煤层深孔聚能爆破增透效果分析

煤层深孔聚能爆破可使煤体内产生大量新生裂隙并使原有裂隙得以扩展,为瓦斯流动提供良好条件。聚能爆破后煤层瓦斯压力、瓦斯含量、抽采孔瓦斯浓度会有不同程度的变化,根据现场实测数据,选取抽采瓦斯浓度作为考察指标对煤层深孔聚能爆破增透效果进行分析。

#### 3.1 单孔瓦斯浓度分析

分析爆破影响范围内的1—3号抽采孔,爆破前后抽采瓦斯浓度变化如图2所示,图2中前2天的瓦斯抽采浓度为爆破前的数据。

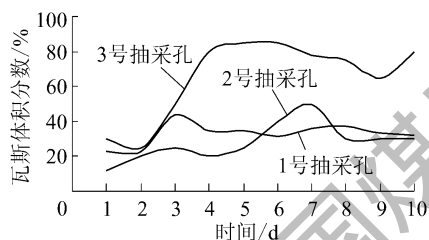


图2 煤层深孔聚能爆破前后单孔瓦斯浓度变化

由图2可知,爆破后各抽采孔抽采瓦斯浓度均不同程度提高,其中1号抽采孔爆破前平均瓦斯体积分数22.86%,爆破后为35.49%,是爆破前的1.55倍;2号抽采孔爆破前平均瓦斯体积分数16%,爆破后为31.25%,是爆破前的1.95倍;3号抽采孔爆破前平均瓦斯体积分数27.5%,爆破后为74.75%,是爆破前的2.72倍。由于试验煤层为低透气性煤层,聚能爆破产生的裂隙网络促进了煤层瓦斯的解吸,导致瓦斯浓度显著增加。此外,3号抽采孔先后受到2次爆破作用,造成煤体裂隙发育充分,透气性显著提高,与仅受到一次爆破作用的1、2号抽采孔相比,爆破后平均瓦斯浓度增幅更明显。

#### 3.2 爆破影响区瓦斯浓度对比分析

爆破影响区各个抽采孔容易受到各种偶然因素的影响,造成瓦斯浓度变化不稳定,只能局部而不能全面反映煤层爆破增透效果,因此对爆破影响区所有抽采孔瓦斯浓度进行统计分析,得到爆破前后影

响区抽采瓦斯浓度变化如图3所示,图3中前2天的瓦斯抽采浓度为爆破前数据。

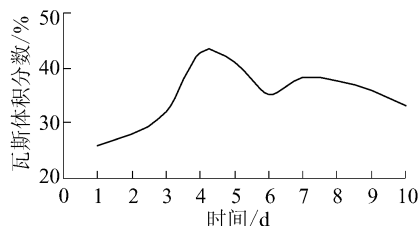


图3 煤层深孔聚能爆破前后爆破影响区瓦斯浓度变化

由图3可知,深孔聚能爆破对煤层整体增透作用显著,爆破前影响区平均瓦斯体积分数为27.07%,爆破后瓦斯浓度先增加后减小,但仍高于爆破前水平,瓦斯体积分数33.30%~43.03%,平均37.26%,是爆破前的1.38倍,增幅达37.64%。分析认为,煤层深孔聚能爆破采用聚能装药结构,现场试验保持聚能方向平行于煤层走向布置,炸药爆炸后在聚能方向煤体裂隙发育充分,爆破产生的裂隙网络造成试验区域内煤体整体卸压,提高煤层透气性。

#### 3.3 布孔位置对爆破效果的影响分析

煤层深孔聚能爆破处于一定的爆破环境,爆破孔布孔位置在一定程度上对爆破效果具有控制作用。由于受平煤十矿试验地点条件的制约,在试验区域戊、煤层和戊、煤层中间发育有岩石夹层,因此设计2种布孔位置,分别在煤层中和岩层中布置爆破孔,研究布孔位置对爆破效果的影响。选取1号和3号爆破孔作为考察对象,其中1号爆破孔布置在岩层中,3号爆破孔布置在煤层中,得到不同布孔位置下煤层深孔聚能爆破影响区的抽采效果。煤层深孔聚能爆破后1号爆破孔影响区爆破前后平均抽采瓦斯体积分数分别为9.80%和11.10%,平均抽采瓦斯体积分数增量为1.3%;3号爆破孔影响区爆破前后平均抽采瓦斯体积分数分别为20.50%和36.76%,平均抽采瓦斯体积分数增量16.26%。分析认为,1号爆破孔布置在岩层中,由于岩体的抗压强度和抗拉强度远大于煤体,聚能爆破后爆炸能量用于岩石致裂消耗了大量能量,传播到煤层时衰减较大,大幅降低爆炸能量作用于煤体的利用率,导致爆破影响区增透效果不明显,而3号爆破孔布置在煤层中,爆炸能量利用率高,煤层增透效果显著。

#### 3.4 装药长度对爆破效果的影响分析

煤层深孔聚能爆破试验中,装药长度受到爆破

孔打钻及成孔条件的制约,造成现场装药长度不等。研究装药长度对爆破效果的影响,选取装药长度分别为14、18和22 m,不同装药长度下爆破影响区抽采瓦斯浓度变化如图4所示,图4中前2天抽采瓦斯浓度为爆破前数据。

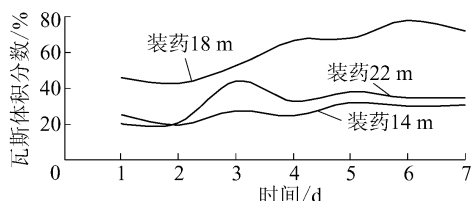


图4 不同装药长度下爆破影响区抽采瓦斯浓度变化

由图4可知,不同装药长度下,爆破后影响区瓦斯浓度均增加但幅度不等,其中装药长度为14 m时,爆破前影响区平均瓦斯体积分数为22.5%,爆破后为28.9%,是爆破前的1.28倍,增幅为28.44%;装药长度为18 m时,爆破前影响区平均瓦斯体积分数为44.3%,爆破后为67.6%,是爆破前的1.53倍,增幅为52.6%;装药长度为22 m时,爆破前影响区平均瓦斯体积分数为20.5%,爆破后为36.76%,是爆破前的1.79倍,增幅为79.32%。可见随着装药长度的增加,爆破后影响区平均抽采瓦斯浓度增幅变大,爆破增透作用更加显著。

## 4 结 语

平煤十矿煤层深孔聚能爆破增透效果显著,爆破后单孔平均抽采瓦斯体积分数为爆破前的1.55~2.72倍,爆破影响区平均抽采瓦斯体积分数为37.26%,是爆破前的1.38倍,增幅达37.64%。现场

试验布孔位置控制煤层爆破增透效果,爆破孔布置在煤层中,提高了爆炸能量利用率,比将爆破孔布置在岩层中的增透效果显著。聚能爆破参数对煤层增透效果影响较大,随着爆破作用次数和装药长度的增加,爆破影响区抽采瓦斯浓度增幅变大。

## 参考文献:

- [1] 袁亮. 松软低透煤层群瓦斯抽采理论与技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2004.
- [2] 段康廉, 冯增朝, 赵阳升, 等. 低渗透煤层钻孔与水力割缝瓦斯排放的试验研究[J]. 煤炭学报, 2002, 27(1): 50-53.
- [3] 石必明, 刘泽功. 保护层开采上覆煤层变形特性数值模拟[J]. 煤炭学报, 2008, 33(1): 17-22.
- [4] 郭德勇, 裴海波, 宋建成, 等. 煤层深孔聚能爆破致裂增透机理研究[J]. 煤炭学报, 2008, 33(12): 1381-1385.
- [5] 龚敏, 文斌, 王德胜. 穿层爆破在南桐矿瓦斯抽放中的应用与数值模拟[J]. 岩土力学, 2012, 33(6): 1822-1828.
- [6] 张志呈, 王刚, 杜云贵. 爆破原理与设计[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1992.
- [7] 罗勇, 沈兆武. 聚能药包在岩石定向断裂爆破中的应用研究[J]. 爆炸与冲击, 2006, 26(3): 250-255.
- [8] 王文龙. 钻眼爆破[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1984.
- [9] 徐颖, 宗琦. 地下工程爆破理论及应用[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.
- [10] 褚怀保, 杨小林, 梁为民, 等. 煤体爆破作用机理模拟试验研究[J]. 煤炭学报, 2011, 36(9): 1451-1456.
- [11] 陈昊. 聚能金属射流形成及侵彻过程中的动态变形研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2012.
- [12] 郭德勇, 吕鹏飞, 裴海波, 等. 煤层深孔聚能爆破裂隙扩展数值模拟[J]. 煤炭学报, 2012, 37(2): 274-278.
- [13] 李季. 煤矿硬质聚氨酯泡沫封孔安全性能实验研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2011.

## (上接第124页)

- [9] HU Chang-xing, ZHOU Jin-song, LUO Zhong-yang, et al. Effect of Oxidation Treatment on the Adsorption and the Stability of Mercury on Activated Carbon [J]. Journal of Environmental Sciences, 2006, 18(6): 1161-1166.
- [10] SHEN Zhe-min, MA Jing, MEI Zhi-jian, et al. Metal Chlorides Loaded on Activated Carbon to Capture Elemental Mercury [J]. Journal of Environmental Sciences, 2010, 22(11): 1814-1819.
- [11] 况敏. 载银活性炭纤维吸附和热脱附的研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2008.
- [12] Sang-Sup Lee, Joo-Youp Lee, Tim C Keener. Mercury Oxidation and Adsorption Characteristics of Chemically Promoted Activated Carbon Sorbents [J]. Fuel Processing Technology, 2009, 90: 1314-1318.

- [13] Mahuya De, Ramin Azargohar, Ajay K Dalai, et al. Mercury Removal by Bio-char Based Modified Activated Carbons [J]. Fuel, 2013, 103: 570-578.
- [14] 熊银伍, 杜铭华, 步学鹏, 等. 改性活性炭脱除烟气中汞的实验研究[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(35): 17-22.
- [15] Colin B Wade, Chad Thurman, William Freas, et al. Preparation and Characterization of High Efficiency Modified Activated Carbon for the Capture of Mercury from Flue Gas in Coal-fired Power Plants [J]. Fuel Processing Technology, 2012, 97: 107-117.
- [16] 罗锦英. 改性活性炭对烟气中气态汞的吸附研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2009.
- [17] 高洪亮, 周劲松, 骆仲决, 等. 改性活性炭对模拟燃煤烟气中汞吸附的实验研究[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(8): 26-30.